合成性信息素对柑桔潜叶蛾的田间引诱作用

钱皆兵[1]，陈海滨[2]，郑和斌[3]，潘烈明[4]，蓝海勇[4]，杜永均[2,*]

（1. 宁波市森林病虫防治检疫站，浙江宁波 315012；2. 温州医学院健康与环境生态研究所，浙江温州 325035；3. 湖南省植保植检站，长沙 410005；4. 宁波纽康生物技术有限公司，浙江宁波 315806）

摘要：目前柑桔潜叶蛾的防治主要依赖化学农药，而且生产中缺少有效测报技术。为此，我们于 2009 年 6 月 30 日至 10 月 6 日在浙江宁波通过有机合成柑桔潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella*(鳞翅目，细蛾科)的 3 种性信息素化合物顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛、顺 7，顺 11-十六碳二烯醛和顺 7-十六碳烯醛，配制成不同浓度比例的混合物，进行田间试验比较其引诱活性。结果表明，单一的顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛对柑桔潜叶蛾雄蛾就可以显示较强的引诱作用，而顺 7，顺 11-十六碳二烯醛单一成分没有引诱活性，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛与顺 7，顺 11-十六碳二烯醛的二元混合物 30:1～3:1 之间活性较强，而在 30:1 的质量比例时诱虫量最高。含顺 7-十六碳烯醛的三元混合物，当顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛:顺 7，顺 11-十六碳二烯醛:顺 7-十六碳烯醛三者比例为 100:10:3 时有显著增效作用。剂量与诱捕活性试验显示每枚诱芯 1 mg 顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛的剂量引诱作用最强，随浓度降低，引诱作用下降。诱捕器在 0.8～1.5 m 之间的不同悬挂高度对诱捕数量无显著影响。结果说明，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛、顺 7，顺 11-十六碳二烯醛和顺 7-十六碳烯醛组成的三元混合物诱芯可以作为柑桔潜叶蛾的诱杀技术并应用于其生物防治和预测测报。

关键词：柑桔潜叶蛾；性信息素；诱捕；顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛；顺 7，顺 11-十六碳二烯醛；顺 7-十六碳烯醛

中图分类号：Q966　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2011)04-0483-07

Evaluation and optimization of the synthetic pheromone blends of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the field

QIAN Jie-Bing[1], CHEN Hai-Bin[2], ZHENG He-Bin[3], PAN Lie-Ming[4], LAN Hai-Yong[4], DU Yong-Jun[2,*]

(1. Ningbo Forest Pest control and Quarantine Station, Ningbo, Zhejiang 315012, China; 2. Institute of Health and Environmental Ecology, Wenzhou Medical College, Wenzhou, Zhejiang 325035, China; 3. Hunan Plant Protection and Quarantine Station, Changsha 410005, China; 4. Newcon Biotech Corp., Ningbo, Zhejiang 315806, China)

Abstract: The prevention and control of the citrus leafminers *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) currently relies on chemical pesticides, and shows a lack of effective forecasting techniques. Sex pheromone components *Z*7,*Z*11,*E*13-hexadecatrienal (*Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald), *Z*7,*Z*11-hexadecadienal (*Z*7,*Z*11-16Ald) and *Z*7-hexadecenal (*Z*7-16Ald) from *P. citrella* were synthesized and tested for their attractiveness to male moths in citrus orchards in Ningbo, Zhejiang, China during the period of June 30 to October 6, 2009. The results showed that *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald attracted male moths strongly, but neither *Z*7,*Z*11-16Ald nor *Z*7-16Ald trapped a significant number of male moths. The optimal ratio of binary blends of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald and *Z*7,*Z*11-16Ald was between 30:1 and 3:1, and the binary blends at the ratio of 30:1 trapped the highest number of males. The highest dosage for catching males was 1 mg pheromone blend formulated with the mixture of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald and *Z*7,*Z*11-16Ald at the ratio of 3:1. The trinary blends (*Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald: *Z*7,*Z*11-16Ald: *Z*7-16Ald = 100:10:3) showed significant synergistic effects. The height of pheromone trap between 0.8 and 1.5 m had no significant effect on trapping efficiency. These results indicate that the synthetic pheromone lures can be used as the trap strategy of citrus leafminers and applied in pest control and forecasting in the field.

Key words: *Phyllocnistis citrella*; sex pheromone; pheromone trap; *Z*7,*Z*11,*E*13-hexadecatrienal; *Z*7,*Z*11-hexadecadienal; *Z*7-hexadecenal

作者简介：钱皆兵，男，1961 年 10 月生，学士，长期从事果树栽培及其害虫综合防治，E-mail：nblt2020@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dyj@wzmc.edu.cn

收稿日期 Received：2010-08-08；接受日期 Accepted：2010-12-19

柑桔潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella* Stainton［鳞翅目(Lepidoptera)，细蛾科(Gracillariidae)］是世界大部分柑桔产区的主要害虫，可以危害所有柑桔品种以及相关植物，葡萄柚、桔子、柚子等都比较容易被危害。柑桔潜叶蛾主要以幼虫危害柑桔的新梢嫩叶，潜入嫩梢、嫩叶表面下取食，形成弯弯曲曲的虫道，被害叶常卷曲，冬季易落叶。严重发生时，对柑桔树势和产量影响极大。在浙江一年可发生 8～10 代，世代重叠现象普遍，多种虫态并存，给防治带来了极大的困难。目前主要依赖于化学农药控制该虫危害，但由于幼虫在虫道里面，化学防治效果不甚理想，基本需要每 2 周喷施一次。由此对柑桔果园自然天敌杀伤作用较大，同时不可避免地出现害虫抗药性增强、农药残留超标、防治效果不佳等问题。此外，在预测预报上更是没有理想的方法。

柑桔潜叶蛾的雄蛾依赖于雌蛾释放的性信息素进行化学通讯联系以达到交配的目的。Ando 等(1985)初步鉴定出日本柑桔潜叶蛾性信息素的主要成分为顺 7，顺 11-十六碳二烯醛，然而，以该化合物配制的诱芯在中国、意大利、西班牙、美国、土耳其和巴西等国家的田间试验都没有诱捕到雄蛾(Sant' Ana *et al.*, 2003)，但可以诱捕到近缘种 *Phyllocnistis wampella* 的雄蛾(Du *et al.*, 1989)。之后，美国 Leal 等(2006)和 Moreira 等(2006)同时鉴定了美国柑桔潜叶蛾的完整性信息素组成，其活性组分为顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和 顺 7，顺 11-十六碳二烯醛以 3∶1 组成的二元混合物，加入顺 7-十六碳烯醛并没有显著提高其活性，而且各单一的化合物都没有引诱作用(Lapointe *et al.*, 2009)，顺 7，顺 11，顺 13-十六碳三烯醛含量的增加则抑制其活性(Moreira *et al.*, 2006)。进一步的田间试验表明，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛以 3∶1 组成的二元混合物对柑桔潜叶蛾雄蛾有非常强的引诱作用(Lapointe *et al.*, 2006)，并由此开发了柑桔潜叶蛾性信息素诱捕的测报诱芯(Stelinski and Rogers, 2008)。此外，其迷向防治的试验和相应技术产品的开发也在日本(Mafi *et al.*, 2005)和美国(Stelinski and Rogers, 2008; Stelinski *et al.*, 2009)展开，初步的试验表明防治效果非常理想，667 m^2 的面积内释放 0.1 g 活性化合物的剂量就有迷向效果(Stelinski *et al.*, 2008)。在性信息素引诱-毒杀试验中，雄蛾在接触药饵后 24 h，100% 雄蛾死亡，而且，性信息素剂量更低(Stelinski and Czokajlo, 2009)。由于顺 7，顺 11，顺 13-十六碳三烯醛的合成成本比较高，因此，性信息素引诱-毒杀技术可能更有意义。

利用人工合成的昆虫性信息素(性引诱剂)防治害虫的技术，由于具有高效、无毒、无污染、经济和生态效益高且不伤害天敌等优点，国外初步的应用试验结果显示了其诱人的应用前景(Stelinski and Rogers, 2008; Stelinski *et al.*, 2008; Stelinski and Czokajlo, 2009)。国内至今对柑桔潜叶蛾性诱剂的研究基本处于空白，而许多昆虫的性信息都有地理区系的差异。为此，基于理论和生产实际的需要，我们开展了柑桔潜叶蛾性信息素的合成和田间试验工作，目的是开发我国柑橘产区的柑桔潜叶蛾性信息素诱捕技术，并最终为柑桔潜叶蛾测报和生物防治服务。

1 材料和方法

1.1 柑橘潜叶蛾性信息素的有机合成

顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛由本实验室有机合成，合成线路参照 Moreira 等(2006)和 Leal 等(2006)，纯度 96.3%，异构体纯度 62%。顺 7，顺 11-十六碳二烯醛，纯度超过 97%。顺 7-十六碳烯醛购自日本 Shinetsu 公司，并经过纯化，其纯度超过 97%。

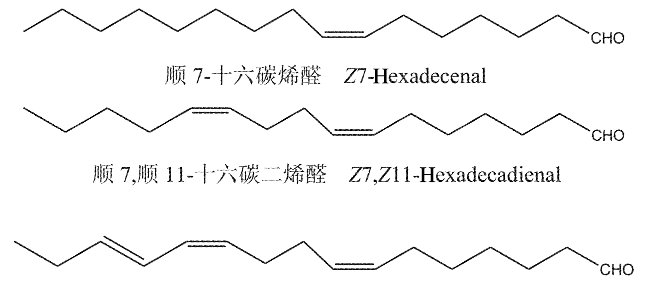


图 1 3 种柑桔潜叶蛾性信息素成分的化学结构式

Fig. 1 Chemical structure of sex pheromone compounds from *Phyllocnistis citrella*

1.2 气相色谱-质谱分析条件

人工合成的柑橘潜叶蛾性信息素化合物均在 Agilent 6890GC 上分析，色谱柱为 DB-35(0.25 mm ×30 m ×25 μm)，程序升温条件：60℃，保持 1 min，10℃/min 升至 180℃，3℃/min 升至 250℃，保持 10 min。进样器温度 250℃，FID 检测器温度 275℃。

气相色谱-质谱联用仪为 Agilent 6890GC-

5975MS，DB-35（0.25 mm × 30 m × 25 μm）。进样器温度275℃，质谱离子发生器的温度为230℃，电子能量为70 eV。

1.3 田间试验

所有田间试验于2009年7月至10月6日在宁波市北仑区大矸镇的璎珞半山坡地柑桔园完成。田间试验的面积达到约13.3 hm^2，柑桔长势良好，危害为中等发生年份，未造成显著的减产。

1.3.1 诱芯：试验中所用释放器为天然脱硫橡胶（宁波纽康生物技术有限公司生产），长度14 mm ± 1 mm，实心部分直径5 mm ± 1 mm，长5 mm ± 1 mm，空心部分直径7 mm ± 1 mm。溶剂为重蒸正己烷。

诱芯溶液配制方法：按以下每一试验中所描述的化合物种类、浓度比例和剂量配制，溶剂为重蒸工业级正己烷，并加入10%的BHT抗氧化剂。加入每个天然脱硫橡胶诱芯的溶液量为100 μL。待正己烷完全挥发后，用铝箔袋密封，放－20℃冰箱储存待用。

1.3.2 化合物配比：三元性信息素混合物由不同浓度比例的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛和顺7，顺11-十六碳二烯醛，并加入3 μg的顺7-十六碳烯醛组成。

二元混合物由不同浓度比例的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛和顺7，顺11-十六碳二烯醛组成。

剂量-反应试验中，采用不同剂量的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛和顺7，顺11-十六碳二烯醛以3∶1组成的二元混合物测试对柑桔潜叶蛾雄蛾的引诱作用。最高剂量为1 000 μg的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛和333 μg的顺7，顺11-十六碳二烯醛配制而成。每次用重蒸正己烷稀释3倍。

性信息素诱捕雄蛾的种群动态所用诱芯为顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛与顺7，顺11-十六碳二烯醛以每枚诱芯100 μg∶3.3 μg的剂量配比配制。

高度试验在10月9日至10月6日进行，以顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛、顺7，顺11-十六碳二烯醛和顺7-十六碳烯醛以100∶10∶3浓度配制的诱芯作为试验诱芯，诱捕器依然为标准粘胶诱捕器，设置的高度分别为0.8 m，1.0 m，1.2 m和1.5 m。

1.3.3 诱捕器设置：诱捕器为宁波纽康生物技术有限公司生产的标准粘胶诱捕器（wing trap），除高度试验外，诱捕器离地面1.5 m，诱捕器之间相距25 m左右。诱捕试验持续60 d，每5 d记录一次，每个处理设置6个诱捕器重复。每个重复的不同处理诱捕器为一个小区，总计6个小区。

1.4 数据统计与分析

实验数据采用DPS数据处理系统8.01（唐启义和冯明光，2007）进行分析，平均数间多重比较采用Duncan氏新复极差法进行分析。

2 结果与分析

2.1 柑橘潜叶蛾性信息素的化学合成及结构鉴定

参照Moreira等（2006）和Leal等（2006）合成路线有机合成了两种柑桔潜叶蛾的性信息素成分顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛和顺7，顺11-十六碳二烯醛。经过核磁共振和质谱图的核对证明合成化合物与文献报道一致，其质谱图见图2。

2.2 浓度配比对诱芯诱蛾活性的影响

田间试验结果显示，单一的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛对柑桔潜叶蛾雄蛾有较强的引诱作用（图3：A，B），而单一的顺7，顺11-十六碳二烯醛完全没有引诱作用。在2009年7月22日至9月19日的试验中，单一组分顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛诱捕到308.3 ± 104.6头雄蛾，为最高，显著高于二元混合物30∶1和10∶1的诱虫量（图3：A），而5∶1～3∶1的诱虫量更少。在同年8月24日至10月6日的试验中，试验结果则显示顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛与顺7，顺11-十六碳二烯醛组成的二元混合物浓度比例在30∶1时为最强（诱虫822.3 ± 416.5头）。二元混合物浓度比例在33∶1～3∶1之间都有较强的引诱活性，除33∶1外，在这之间的其他浓度比例下，引诱作用差异并不显著（图3：B）。单一组分顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛诱捕也诱捕到328.3 ± 105.6头雄蛾。

含顺7-十六碳烯醛的三元混合物在顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛、顺7，顺11-十六碳二烯醛与顺7-十六碳烯醛的比列为100∶10∶3时，明显高于相应的二元化合物的引诱活性（图4）。但在其他配比时诱虫量差异不显著。

2.3 诱芯活性化合物剂量与诱蛾活性的关系

诱芯中活性化合物的总剂量显著影响诱蛾数量，剂量-反应结果表明，在所有测试的剂量中，当每枚诱芯含1 mg顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛的剂量引诱作用最强，剂量降低，引诱作用逐步下降。但不同试验日期，其剂量-反应关系稍有差异。在7月22日至9月19日的试验中，浓度减低，诱

虫量下降的趋势较快，每枚诱芯的顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛剂量小于3.3 μg时就没有显著的引诱作用(图5：A)。而在8月21日至10月6日的试验中，每枚诱芯顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛剂量在333 μg～1 mg之间的诱虫量下降幅度并不太大，甚至在每枚诱芯顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛的剂量在3.3 μg时，还能诱捕到少量虫(图5：B)。

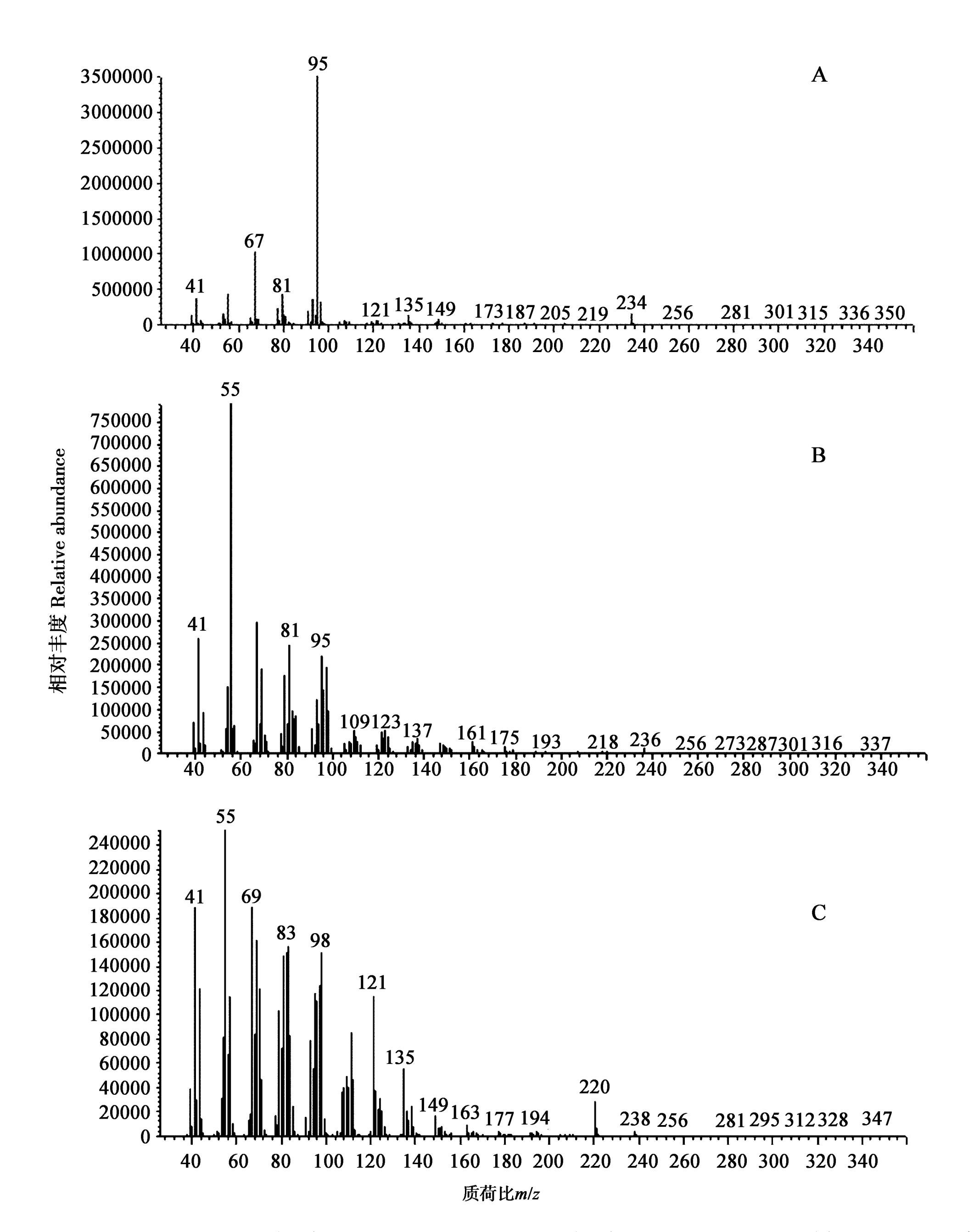
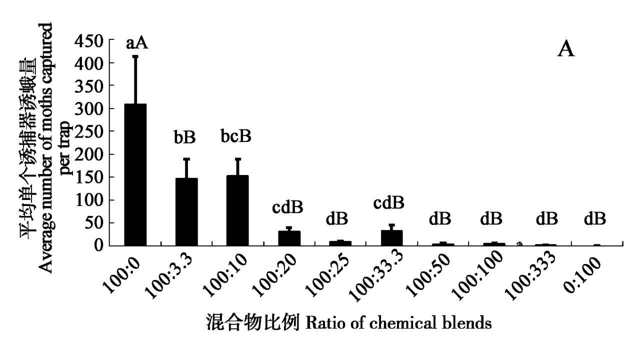


图2 顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛(A)、顺7，顺11-十六碳二烯醛(B)和顺7-十六碳烯醛(C)的质谱图

Fig. 2 Mass spectrum of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald(A), *Z*7,*Z*11-16Ald (B) and *Z*7-16Ald (C)



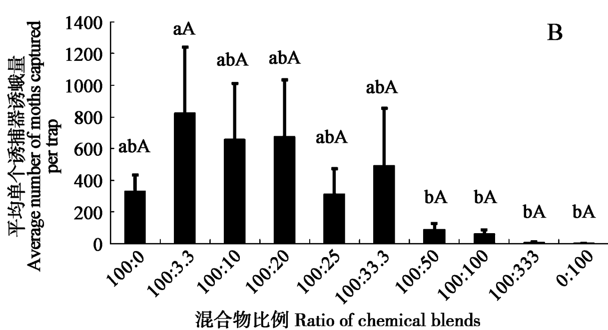


图 3　不同浓度配比的二元混合物(顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛)对柑桔潜叶蛾雄蛾的引诱作用

Fig. 3　The attractiveness of the binary blends composed of different ratios of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald and *Z*7,*Z*11-16Ald to male moths of *Phyllocnistis citrella* in the field

A：2009.7.22 – 2009.9.19；B：2009.8.24 – 2009.10.6. 图中数值为平均值 ± 标准误；柱上标有不同小写字母者表示显著性差异(5%水平)，标有不同大写字母者表示极显著性差异(1%水平)；图4 ~ 6同。Data in the figure are mean ± *SE*. Different lowercase and capital letters above bars indicate significant difference between treatments at the 5% and 1% level, respectively. The same for Figs. 4 – 6.

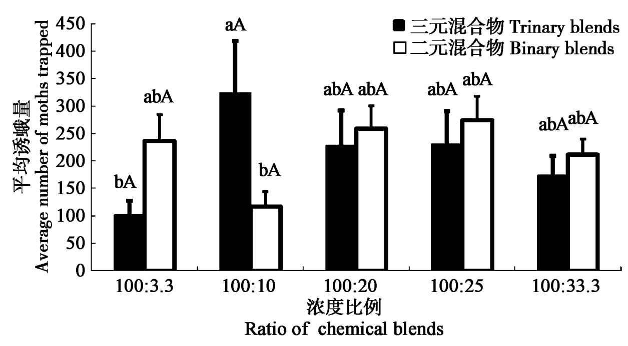
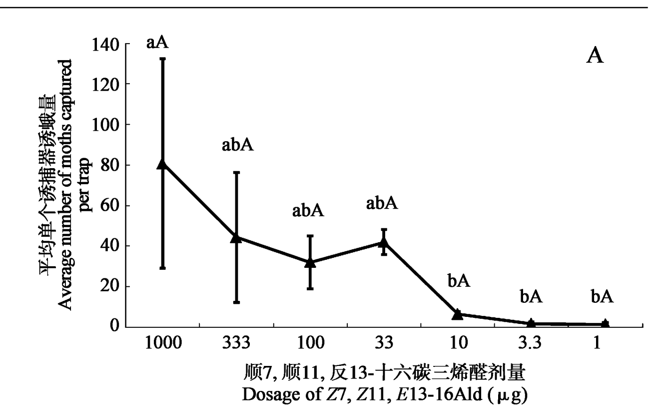


图 4　不同浓度配比的三元和二元混合物对柑桔潜叶蛾雄蛾的引诱作用

Fig. 4　The attractiveness of the binary and trinary blends to male moths of *Phyllocnistis citrella* in the field

二元混合物为顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛，没有 3 μg 的顺 7-十六碳烯醛；三元混合物为顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛，加 3 μg 顺 7-十六碳烯醛 The binary mixture was formulated with different ratios of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald and *Z*7,*Z*11-16Ald. The trinary mixtures were composed of different ratios of *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald, *Z*7,*Z*11-16Ald and *Z*7-16Ald, but the amount of *Z*7-16Ald in the mixture was always 3 μg per lure.



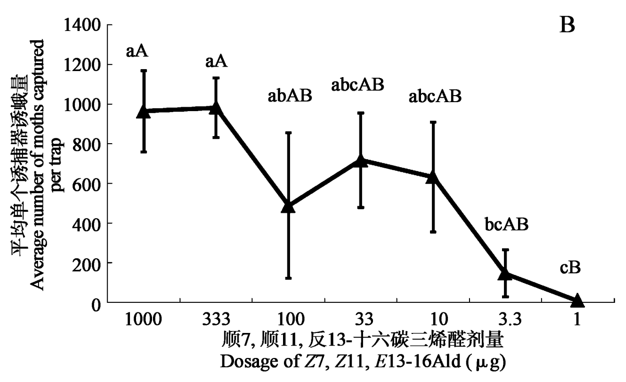


图 5　不同剂量的顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛 3∶1 组成的二元混合物对柑桔潜叶蛾雄蛾的引诱作用

Fig. 5　The dose-response relationship of binary pheromone components formulated with *Z*7,*Z*11,*E*13-16Ald∶*Z*7,*Z*11-16Ald (=3∶1) in the field

A：2009.7.22 – 2009.9.19；B：2009.8.21 – 2009.10.6.

2.4　不同诱捕器悬挂高度的诱蛾效果差异

由于璎珞柑桔园的柑桔树冠不高大，我们比较了从 0.8 ~ 1.5 m 不同悬挂高度的诱捕器的诱捕效果，结果显示诱捕数量差异并不显著(图 6)。

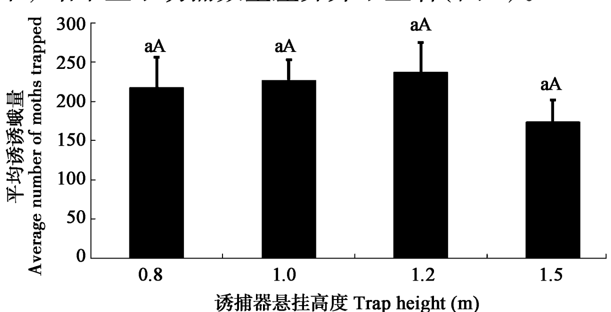


图 6　不同诱捕器高度对柑桔潜叶蛾雄蛾诱捕的影响

Fig. 6　Effect of the height of pheromone trap on the number of male moths of *Phyllocnistis citrella* captured in the field

2.5　柑橘潜叶蛾性信息素诱捕雄蛾的种群动态

图 7 是柑桔潜叶蛾性信息素诱芯对柑桔潜叶蛾

的诱捕量的比较。第 1 次诱捕试验从 7 月 1 日开始至 7 月 22 日，由于季节偏早，没有诱捕到任何雄蛾。于是在 7 月 22 日全部更换了与前一次相同的诱芯，并在 8 月 12 日的试验中诱捕到雄蛾 11.7 ± 3.8 头(图 7)。从 3 次不同时期释放的诱芯(每枚诱芯含顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛与顺 7，顺 11-十六碳二烯醛 100 μg∶3.3 μg 的剂量)诱捕量变化的图表中可以看出，诱芯持效期大致在 50 ~ 60 d 之间，7 – 8 月份气温高，诱芯持效期稍短，而后期气温降低，则持效期稍有延长。诱捕量反应了田间的种群动态变化。这一比例的诱芯对雄蛾的引诱力强，其峰形更加清晰。在浙江宁波地区，柑桔潜叶蛾的种群在 7 月中之前，只诱捕到零星的雄蛾，但在 7 月下旬开始，果园中的柑桔潜叶蛾种群上升。

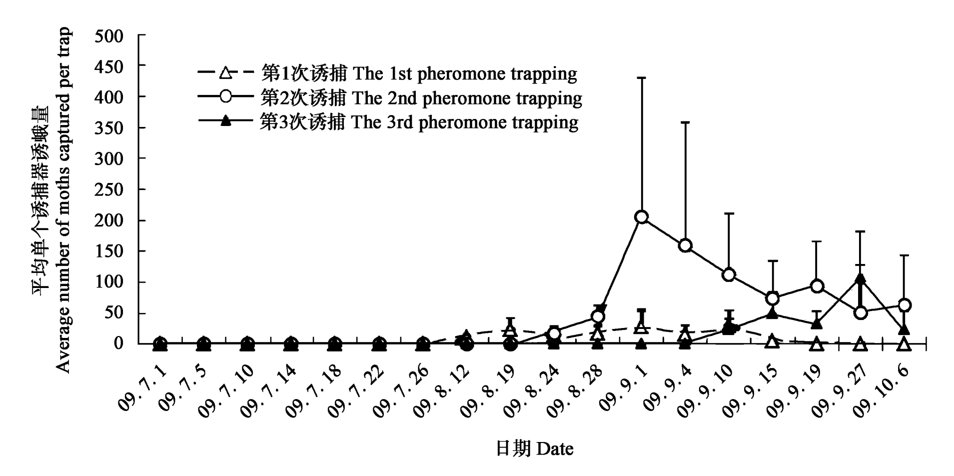


图 7 柑桔潜叶蛾性信息素诱芯诱捕到的雄蛾种群动态变化(平均值 ± *SD*)

Fig. 7 The population dynamics of male moths of *Phyllocnistis citrella* captured by the synthetic pheromone blends in the field (mean ± *SD*)

第 1 次诱捕于 2009 年 6 月 30 日设置，第 2 次诱捕于 2009 年 8 月 21 日设置，第 3 次诱捕于 2009 年 9 月 9 日设置。The 1st pheromone trapping was set up in the field on June 30, 2009, the 2nd pheromone trapping was set up in the field on August 21, 2009 and the 3rd pheromone trapping was set up in the field on September 9, 2009.

3 讨论

在昆虫对性信息素的反应中，需要完整的性信息素组成，包括化合物种类、浓度、及各组分比例(Cardé and Minks, 1997)。在宁波地区的田间试验表明，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛组成的混合物对柑桔潜叶蛾有较强的引诱活性，同时，我们在更大范围的试验表明，该诱芯在湖南、广西地区的试验中也显示出很强的活性(王金辉等, 2010)。然而，柑桔潜叶蛾性信息素的顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛的合适浓度比例并不是美国虫源所报道的 3∶1，而是在 30∶1 ~ 3∶1 之间都有较强的诱蛾活性，其最佳的浓度比例为 30∶1。在三元性信息素混合物中，增加顺 7-十六碳烯醛在不同浓度比例的混合物中反应不一致，在顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛组成的二元混合物浓度比例为 10∶1(即三组分比例为 100∶10∶3)时，才有显著增效作用，因此，3 个化合物的合适浓度比例是关键，从这一结果来看，顺 7-十六碳烯醛应该也是柑桔潜叶蛾的性信息素组分之一。

Moreira 等(2006)和 Leal 等(2006)报道的美国柑桔潜叶蛾性信息素顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛和顺 7，顺 11-十六碳二烯醛的二元混合物以 3∶1 的浓度比例为最佳，而且，单一顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛没有引诱作用，这与本文的结果有差异。日本柑桔潜叶蛾的性信息素主要成分为顺 7，顺 11-十六碳二烯醛，与我国的组分不一样，顺 7，顺 11-十六碳二烯醛单一成分对我国柑桔潜叶蛾没有引诱作用，但是我们配制的同样配比的诱芯在湖南芷江的试验结果表明最佳的浓度比例为 5∶1 和 4∶1(王金辉等, 2010)。显然，柑桔潜叶蛾性信息素存在一定的地理区系差异。在我们的试验中，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛单一组分也显示较强的引诱活性，但在湖南几个试验点诱捕效果并不很强，在日本则是顺 7，顺 11-十六碳二烯醛单一组分起引诱作用，顺 7，顺 11，反 13-十六碳三烯醛没有

任何协同增效作用（Mafi *et al.*，2005；van Vang *et al.*，2008），然后，在越南，则需要在诱芯中加入顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛才能诱捕到柑桔潜叶蛾，以顺7，顺11-十六碳二烯醛：顺7，顺11，反13-十六碳三烯醛 1∶3 为最佳的浓度比例（van Vang *et al.*，2008）。

此外，由于性信息素的挥发性，温度越高，挥发越快，因此，不同试验季节，由于温度等气候因子的差异，其剂量-诱捕反应曲线关系稍有差异。在温度较高的 7 月 22 日至 9 月 19 日期间，剂量减低，诱虫量下降的趋势较快。而在气温较低的 8 月 21 日至 10 月 6 日期间，每枚诱芯含量大于 333 μg 以上的各个测试剂量的诱蛾量差异并不显著。

在应用技术方面，诱捕器的高度在 0.8，1，1.2 和 1.5 m 的诱捕数量并没有显著差异，这与 Lapointe 等（2006）所报道的结果一致，但 Stelinski 和 Rogers（2008）的试验结果显示，诱捕器悬挂在树冠中部时可以诱捕到比高于 3.5 m 或低于 0.6 m 更多的雄蛾，但在树冠周围或之间，悬挂高度在 0.6 m 时为最佳。从试验结果的诱虫量和持效期来，柑桔潜叶蛾性诱剂基本可以应用于该虫的防治和测报。在随后进行的防治试验显示，利用柑桔潜叶蛾性诱剂的群集诱杀技术，每 667 m^2 设置 2 套性信息素诱捕器的防治效果可以达到 90.4%，而每 667 m^2 设置 4 套的性信息素诱捕器可以高达 95.6%，高于 2% 阿维菌素化学防治的 87.0%（王金辉等，未发表资料）。

参 考 文 献（References）

Ando T, Taguchi KY, Uchiyama M, Ujiye T, Kuroko H, 1985. (7*Z*, 11*Z*)-7, 11-Hexadecadienal: sex attractant of the citrus leafminer moth, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera, Phyllocnistidae). *Agric. Biol. Chem.*, 49: 3633 – 3635.

Cardé RT, Minks AK, 1997. Insect Pheromone Research: New Directions. Chapman & Hall, New York. 684 pp.

Du TY, Xiong JJ, Wang ZH, Kong FL, 1989. (7*Z*, 11*Z*)-7, 11-Hexadecadienal: sex attractant of *Phyllocnistis wampella* Liu *et* Zeng. *Entomological Knowledge*, 26: 147 – 149.

Lapointe SL, Hall DG, Murata Y, Parra-Pedrazzoli AL, Bento JMS, Villela EF, Leal WS, 2006. Field evaluation of a synthetic female sex pheromone for the leafmining moth *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Florida citrus. *Fla. Entomol.*, 89: 274 – 276.

Lapointe SL, Stelinski LL, Evens TJ, Niedz RP, Hall DG, Mafra-Neto A, 2009. Sensory imbalance as mechanism of orientation disruption in the leafminer *Phyllocnistis citrella*: elucidation by multivariate geometric designs and response surface models. *J. Chem. Ecol.*, 35: 896 – 903.

Leal WS, Parrra-pedrazzoli AL, Cossé AA, Murata Y, Bento JMS, Vilela EF, 2006. Identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone from the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*. *J. Chem. Ecol.*, 32(1): 155 – 168.

Mafi SA, van Vang L, Nakata Y, Ohbayashi N, Yamamoto M, Ando T, 2005. Identification of the sex pheromone of the citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton, Lepidoptera: Gracillariidae) with a trial of control by the communication disruption method. *J. Pestic. Sci.*, 30(4): 361 – 367.

Moreira JA, McElfresh JS, Millar JG, 2006. Identification, synthesis, and field testing of the sex pheromone of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*. *J. Chem. Ecol.*, 32: 169 – 194.

Sant'Ana J, Corseuil E, Corrêa AGE, Vilela EF, 2003. Avaliação da atração de *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera, Gracillariidae) a (*Z*, *Z*) e (*Z*,*E*)-7,11-hexadecadienal em pomares de citros do Brasil. *Biociências*, 11: 177 – 181.

Stelinski LL, Czokajlo D, 2009. Suppression of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, with an attract-and-kill formulation. *Entomol. Exp. Appl.*, 134: 69 – 77.

Stelinski LL, Lapointe SL, Meyer WL, 2009. Season-long mating disruption of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Station, with an emulsified wax formulation of pheromone. *J. Appl. Entomol.*, 134: 512 – 520.

Stelinski LL, Miller JR, Rogers ME, 2008. Mating disruption of citrus leafminer mediated by a non-competitive mechanism at a remarkably low pheromone release rate. *J. Chem. Ecol.* 34, 1107 – 1113.

Stelinski LL, Rogers ME, 2008. Factors affecting captures of male citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton, in pheromone-baited traps. *J. Appl. Entomol.*, 132: 143 – 150.

Tang QY, Feng MG, 2007. DPS Data Processing System. Science Press, Beijing. 98 – 115. [唐启义，冯明光，2007. DPS 数据处理系统. 北京：科学出版社. 98 – 115]

van Vang L, Islam MDA, Duc Do N, van Hai T, Koyano S, Okahana Y, Ohbayyashi, N, Yamamoto M, Ando T, 2008. 7, 11, 13-Hexadecatrienal identified from female moths of the citrus leafminer as new sex pheromone component: synthesis and field evaluation in Vietnam and Japan. *J. Pestic. Sci.*, 33(2): 152 – 158.

Wang JH, Guo HM, Zheng HB, 2010. Preliminary evaluation on the attractiveness of *Phyllocnistis citrella* Station synthetic sex pheromone in the field. *China Plant Protection*, 30(S1): 51 – 53. [王金辉，郭海明，郑和斌，2010. 柑橘潜叶蛾性诱剂诱蛾效果初探. 植保导刊(增刊 1)，30：51 – 53]

（责任编辑：赵利辉）